

УДК 675.92.027

Б.М. ЗЛОТЕНКО, Т.І. КУЛІК

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВИЗНАЧЕННЯ УСАДКИ ВИЛИТОГО ПОЛІМЕРНОГО ВИРОБУ З  
МЕТАЛЕВИМИ ВСТАВКАМИ**

*У статті представлені результати дослідження впливу технологічних параметрів процесу виготовлення полімерних взуттєвих виробів з металевими вставками на їх якість. Визначені раціональні режими процесу лиття для забезпечення заданої міцності з'єднання в місці контакту, що дозволяє отримувати металополімерні вироби із необхідними експлуатаційними характеристиками.*

**Ключові слова:** лиття під тиском, комбіновані метало-полімерні вироби, якість литого полімерного виробу, технологічні параметри процесу лиття

**Об'єкти та методи дослідження**

Об'єктом дослідження є процес виготовлення виробів з полімерних матеріалів з металевими вставками методом лиття під тиском. Основним типом таких виробів у взуттєвій промисловості є підошви взуття, в яких встановлені металеві шипи для надання їм антиковзних властивостей при експлуатації в зимовий період на поверхнях, вкритих льодом, або на інших слизьких поверхнях.

Величина усадки вилитих виробів визначена методом математичного моделювання процесу лиття під тиском на основі використання законів розподілу тиску в оформлюючій порожнині прес-форми і рівняння стану полімерного матеріалу. В результаті спільного вирішення рівняння для розподілу тиску і рівняння стану отримана аналітична залежність для визначення лінійної усадки полімерного матеріалу вилівка в місці його з'єднання з металевими штирями, з урахуванням величин технологічних параметрів процесу лиття під тиском і теплофізичних й фізико-механічних властивостей матеріалів, які використані для виготовлення метало-полімерного виробу.

**Постановка завдання**

Під час виготовлення вилитих полімерних виробів з металевими вставками важливо забезпечити умови виникнення міцного зв'язку між різними за природою матеріалами, який виникає в основному завдяки силі тертя покою в місці контакту. Для таких виробів, як елементи підошви з шипами, сила тертя на поверхні розподілу між полімером і металом визначається силами адгезії, механічного заклинювання затверділого полімерного розплаву в нерівностях металевої поверхні і натягом, який виникає внаслідок усадки вилівка. Остання складова, яка є найбільш істотною, залежить, як і усадка, від технологічних параметрів процесу лиття під тиском. Тому, забезпечити задану міцність з'єднання між полімерним матеріалом і металевими штирями можна за рахунок керування процесом лиття на основі встановлення залежностей усадки, а разом із тим і натягу, від технологічних параметрів.

**Результати та їх обговорення**

Розрахункова схема для визначення усадки наведена на рис. 1. Вона включає в себе матеріальний циліндр 1, в якому відбувається розплавлення, гомогенізація полімерного матеріалу і нагрівання розплаву до заданої температури за допомогою нагрівачів 2. На схемі показаний також бункер 3, з якого гранульований полімерний матеріал подається в зону плавлення матеріального циліндра. Отриманий розплав упорскується в прес-форму 4, де формується виріб 5 в умовах підживлення прес-форми

розплавом через ливник 6 і охолодження холодоагентом, який циркулює в каналах охолодження 7, встановлених в стінках прес-форми.

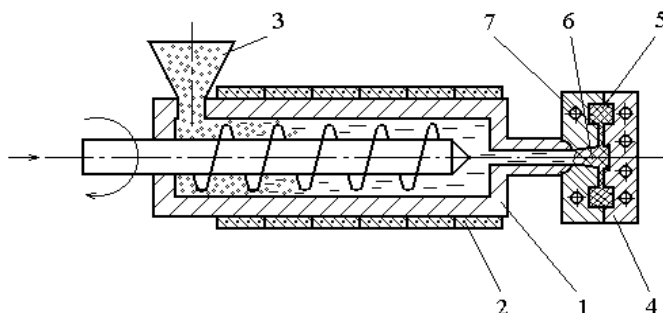


Рис. 1. Схема литтєвої машини:

**1 – матеріальний циліндр, 2 – нагрівач; 3 – бункер; 4 – прес-форма; 5 – виріб;  
6 – ливник; 7 – канал охолодження**

Тиск на вході в прес-форму забезпечується механізмом упорскування матеріального циліндра і може бути визначений із співвідношення, яке враховує втрати тиску в ньому при поступальному русі черв'яка:

$$P_{\Phi} = K_B P_{\Lambda}, \quad (1)$$

де  $P_{\Lambda}$  – тиск лиття (тиск всередині матеріального циліндра), Па;  $K_B$  – коефіцієнт витрат тиску.

Рекомендовані значення тиск лиття, температури розплаву і температури прес-форми для деяких полімерних матеріалів, які часто використовуються для виготовлення каблуків, набойок та інших деталей взуття, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 Технологічні параметри лиття деяких полімерних матеріалів під тиском

Матеріал	Температура розплаву $t$ , °C	Тиск лиття $P_{\Lambda}$ , МПа	Температура прес-форми $t_{\Phi}$ , °C
ПЕВТ	190...220	40...100	30...60
ПЕНТ	240...270	50...140	30...70
ПС	180...230	100...120	40...70

Значення коефіцієнта витрат тиску для деяких полімерних матеріалів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 Значення коефіцієнта витрат тиску для деяких полімерних матеріалів

Матеріал	$K_B$
ПЕВТ	0,5...0,75
ПЕНТ	0,5...0,75
ПС	0,55...0,7

Тиск, що діє на розплав в оформлюючому гнізді прес-форми, залежить від багатьох факторів, серед яких геометричні параметри прес-форми, силові параметри обладнання, температура розплаву на

виході з матеріального циліндра, температура стінок прес-форми та інші. Як правило, величина тиску в прес-формі визначається за допомогою емпіричних формул [1-4]:

$$P_p = P_\phi \cdot \left( \frac{0,07}{K} + 0,045 \cdot K + 0,72 \right), \quad (2)$$

$$K = \frac{l}{\Pi} \cdot \left( \frac{170}{t} \right)^4, \quad (3)$$

де  $P_\phi$  – тиск на вході в прес-форму, Па;  $l$  – довжина оформлюючого гнізда прес-форми, м;  $\Pi$  – периметр поперечного перетину виробу, м,  $t$  – температура розплаву, °C.

В процесі лиття під тиском густина полімерного матеріалу змінюється відповідно до рівняння стану:

$$(P + p) \cdot \left( \frac{1}{\rho} - w \right) = \frac{RT}{M}, \quad (4)$$

де  $P$  – тиск, Па;  $p$  – стала, яка характеризує силу міжмолекулярної взаємодії, Па;  $\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – стала, яка характеризує величину простору, зайнятого макромолекулами, м<sup>3</sup>/кг;  $R = 8,314$  кДж/(кмоль·К) – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура, К;  $M$  – молярна маса структурної одиниці, кг/моль. Значення величин, що входять в рівняння (3), для деяких полімерних матеріалів наведені в табл. 3.

Таблиця 3 Значення сталих рівняння стану для деяких полімерних матеріалів

Матеріал	$M$ , кг/кмоль	$p$ , МПа	$w$ , м <sup>3</sup> /кг
ПЕВТ	28,1	324	$0,875 \cdot 10^{-3}$
ПЕНТ	28,1	677	$1,11 \cdot 10^{-3}$
ПС	104	180	$0,822 \cdot 10^{-3}$

Значення об'ємної усадки виробу, яка виникає за рахунок зміни густини полімерного матеріалу, визначається за формулою:

$$S_V = \frac{V_\phi - V_B}{V_\phi} \cdot 100\%, \quad (5)$$

де  $V_\phi$  – об'єм оформлюючого гнізда прес-форми, м<sup>3</sup>;  $V_B$  – об'єм виробу, м<sup>3</sup>.

З рівнянь (4) і (5) можна отримати вираз для розрахунку об'ємної усадки виробу:

$$S_V = 1 - \frac{\frac{RT_B}{M(p_B + p)} + w}{\frac{RT_p}{M(p_p + p)} + w}. \quad (6)$$

де  $P_B$  – тиск, який діє на виріб, Па;  $P_p$  – тиск, який діє на розплав, Па;  $T_B$  – абсолютна температура виробу, К;  $T_p$  – абсолютна температура розплаву, К.

Середня лінійна усадка виробу визначається за формулою, яка пов'язує її з величиною об'ємної усадки:

$$S_L = 1 - \sqrt[3]{\frac{V_B}{V_\Phi}}. \quad (7)$$

З виразів (5) і (7) можна отримати формулу для розрахунку лінійної усадки за відомим значенням об'ємної усадки:

$$S_L = 1 - \sqrt[3]{1 - S_V}. \quad (8)$$

Підставляючи (6) в (8), отримаємо вираз для визначення лінійної усадки виливка в залежності від величини технологічних параметрів процесу лиття під тиском і параметрів полімерного матеріалу, які входять до рівняння стану:

$$S_L = 1 - \sqrt[3]{\frac{\frac{RT_B}{M(\rho_B + p)} + w}{\frac{RT_p}{M(\rho_p + p)} + w}}. \quad (9)$$

На рис. 2 і 3 наведені графічні залежності величини лінійної усадки виробу з поліетилену високого тиску від тиску лиття і температури розплаву, розраховані за рівнянням (9) для різних комбінацій технологічних параметрів процесу лиття під тиском.

Сила тертя між полімерним матеріалом виливка і металічною циліндричною вставкою визначається величиною натягу, викликаного усадкою полімерного матеріалу, коефіцієнтом тертя покою

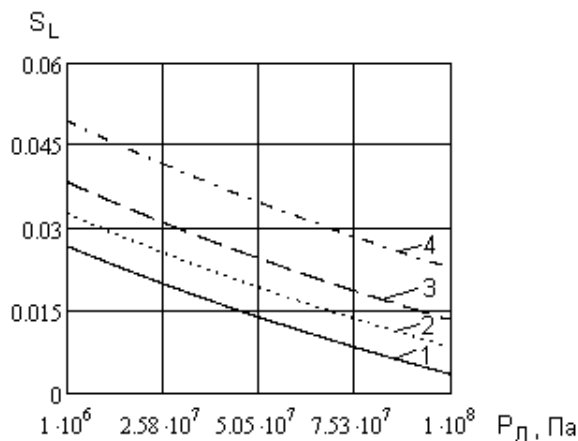


Рис. 2. Залежність лінійної усадки від тиску лиття:

1 –  $T=400$  K; 2 –  $T=425$  K;  
3 –  $T=450$  K; 4 –  $T=500$  K.

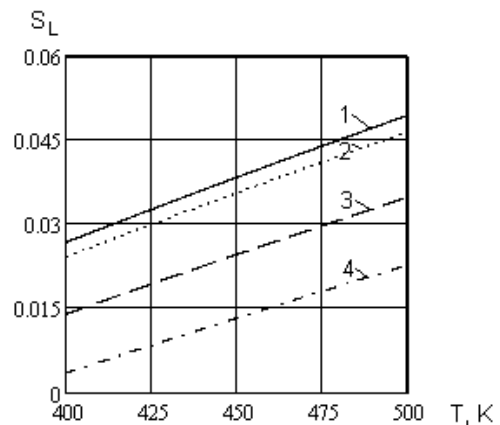


Рис. 3. Залежність лінійної усадки від

температури розплаву: 1 –  $P_{\text{л}}=10^6$  Па;  
2 –  $P_{\text{л}}=10^7$  Па; 3 –  $P_{\text{л}}=5 \cdot 10^7$  Па; 4 –  $P_{\text{л}}=10^8$  Па.

на границі розподілу між полімером і металом, фізико-механічними властивостями полімерного матеріалу, адгезією між полімером і металом та багатьма іншими факторами, і може бути виражена у вигляді [5]:

$$F_{mp} = \pi f N E \cdot \frac{d - d^3 \left( \frac{D}{d} \right)^2}{d^2 \left( \frac{D}{d} \right)^2 (-\mu) (1 + \mu)}. \quad (10)$$

де  $N$  – величина усадки;  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона для підшви;  $f$  – коефіцієнт тертя між штирем та матеріалом підшви;  $E$  – модуль пружності матеріалу підшви;  $d$  – початковий діаметр отвору у підшві, тобто діаметр штиря; діаметр ділянки полімеру  $D$ ;  $l$  – довжина штиря.

В цьому виразі величина натягу дорівнює величині лінійної усадки, оскільки можна вважати, що під час охолодження зменшується лише діаметр отвору в полімерному матеріалі підшви, а діаметри металевго стержня залишається незмінним.

З урахуванням (9) вираз (10) набуває вигляду:

$$F_{mp} = \pi f E \cdot \frac{d - d^3 \left( \frac{D}{d} \right)^2}{d^2 \left( \frac{D}{d} \right)^2 (1 + \mu)} \cdot \left[ 1 - 3 \sqrt[3]{\frac{\frac{RT_B}{M \left( \frac{D}{d} + p \right)} + w}{\frac{RT_P}{M \left( \frac{D}{d} + p \right)} + w}} \right]. \quad (11)$$

Вираз (11) встановлює залежність між силою тертя між полімером і металевою вставкою і технологічними параметрами процесу заповнення прес-форми, що дозволяє визначити раціональні режими процесу лиття для забезпечення заданої міцності з'єднання у місці контакту, а отже забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики взуттєвого металополімерного виробу.

### Висновки

Як видно з представлених графічних залежностей, із збільшенням тиску лиття усадка істотно зменшується, а із збільшенням температури розплаву в місці упорскування – збільшується. Встановлені залежності дозволяють керувати величиною усадки за рахунок вибору раціональних режимів лиття. Звичайно, при цьому необхідно задовольняти вимоги до точності виготовлення виробів, збереження їх геометричної форми і заданих фізико-механічних параметрів. Тому керування величиною усадки може здійснюватись лише в межах, які запобігають коробленню, підвищеній анізотропії фізико-механічних властивостей матеріалу виливка і, як наслідок, зниженню експлуатаційних показників готових взуттєвих метало-полімерних виробів.

Отримана аналітична залежність (11) може бути використана не лише для проектування процесу лиття антиковзних підшов, а й інших металополімерних виробів, до яких належать різного роду електротехнічна арматура, важелі, деталі різьбових та інших з'єднань, деталі електро побутових приладів тощо [6].

Керування усадкою вилитих виробів може здійснюватись також і для забезпечення необхідної точності будь-яких інших вилитих полімерних виробів, особливо деталей з циліндричними поверхнями, які з'єднуються з заданими величинами зазору або натягу.

### Список використаної літератури

1. Пантелеев А.П. и др. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
2. Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов. – Л.: Химия, 1983. – 288 с.
3. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
4. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьём под давлением. – М.: Химия, 1974. – 271 с.

5. Басов Н.И. и др. Расчёт и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов. – М.: Химия, 1991. – 352 с.

6. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія виробництва виробів із пластмас і композитів. – К.: ІСДО, 1995. – 164 с.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2012

**Определение усадки литых полимерных изделий с металлическими вставками**

Злотенко Б.Н., Кулик Т.И.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

В статье представлены результаты исследования влияния технологических параметров процесса изготовления полимерных обувных деталей с металлическими вставками на их качество. Определены рациональные режимы процесса литья для обеспечения необходимой прочности соединения в месте контакта, что позволяет получать металлополимерные изделия с необходимыми эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** литье под давлением, комбинированные метало-полимерные изделия, качество литого полимерного изделия, технологические параметры процесса литья.

**Definition of shrinkage of molded polymeric products with metal inserts**

B. Zlotenko, T. Kulik

*Kiev National University of Technologies & Design*

The article presents results of research of influence of technological parameters of the manufacturing process of plastic shoe products with metal inserts on their quality. The authors identified rational modes of molding process for ensure required strength of the connection in the contact point which allows to get metal-polymer products with the needed conditions.

**Key words:** injection molding, metal-polymer composite products, the quality of molded polymer products, technological parameters of the molding process.